

На рис. 2 и 3 представлены графики с результатами, полученными при решении задачи плавления (кристаллизации) н-парафина в капсуле из ПЭНД, в определенные моменты времени τ . При повышении (понижении) температуры окружающей среды происходит постепенный нагрев (охлаждение) ТАМ в капсуле. Когда температура ТАМ достигнет температуры фазового перехода t^* , начинается процесс плавления (кристаллизации). Переход от жидкого агрегатного состояния к твердому, или наоборот, проходит в зоне двухфазного состояния, т.е. когда присутствуют оба агрегатных состояния. На рис. 3 и 4 этой области соответствуют горизонтальные участки кривых. Одновременно происходит поглощение (выделение) скрытой теплоты фазового перехода λ . Также видно, что зона двухфазного состояния н-октадекана с увеличением времени растет и стремится к центру капсулы. После того как ТАМ полностью расплавился (закристаллизовался), происходит его дальнейший нагрев (охлаждение). Границы между оболочкой и н-парафином на кривых практически незаметны ввиду незначительной разницы их теплофизических свойств.

Библиографический список

1. Самарский А.А., Вабищевич П.Н. Вычислительная теплопередача. М.: Едиториал УРСС, 2003. 784 с.
2. Варгафтик Н. Б.. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М: Наука, 1972. 720 с.
3. Теплотехника: Учеб. для вузов / В.Н. Луканин, М.Г. Шатров, Г.М. Камфер и др.; Под ред. В. Н. Луканина. 2-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 2000. 671 с.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ДВУХВАЛЬНОГО ГАЗОГЕНЕРАТОРА НА ЭФФЕКТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГТУ

Кашина О.В., Немытова Д.А., Гулина С.А.
УрФУ

Kt_oeg@mail.ru

В настоящее время конвертированные авиационные газотурбинные двигатели (ГТД) нашли широкое применение в наземных энергетических установках для привода газоперекачивающих агрегатов (ГПА), так как базовым авиационным ГТД присущие высокая надежность, экономичность и эксплуатационная технологичность, малые габаритные размеры и масса, стабильность потребительских свойств. Перечисленные достоинства авиационных приводов позволяют реально повысить эффективность и экономичность современных ГПА и способствуют совершенствованию структуры компрессорных станций магистральных газопроводов. При этом разнообразные ГПА имеют различные технико-экономические показатели. Для базового авиационного двигателя наземного использования в качестве ГПА, изменяются физические условия на входе в двигатель, параметры номинального режима и вид топлива. В связи с этим анализ влияния технико-экономических показателей на эффективность работы ГПА является актуальной задачей, и необходимо ещё на начальном этапе кон-

вертирования иметь возможность получения достоверных значений термодинамических параметров конвертируемого двигателя и его эффективности.

Цель настоящего исследования заключается в следующем: на основе математического моделирования термодинамического процесса оценить влияние распределения степени повышения давления по каскадам компрессоров авиационного двигателя на эффективные параметры конвертированного авиационного двигателя, что позволит экономить топливный газ, снижая себестоимость перекачиваемого природного газа.

Алгоритм расчета для термодинамического анализа авиационных двигателей достаточно сложен, еще более сложной задачей является анализ циклов ГТД при их работе на природном газе, с произвольным составом, зависящим от месторождения. Для решения этой задачи потребовалось создание алгоритма расчета параметров смеси произвольных газов, и массива с данными термодинамических свойств компонентов технологического топлива в широком диапазоне температур. Необходимость учета переменности свойств воздуха и продуктов сгорания, в процессе термодинамических расчетов циклов очевидна, и не учёт изменения свойств рабочего тела от температуры и коэффициента избытка воздуха может дать ошибку в вычислениях более 5 % по данным [2]. Математическая модель термодинамического расчета разработана на основе алгоритма $p - h - T$ функций. Как показал анализ [4], использующегося метода, достоверная точность может быть обеспечена только при точном учете зависимости теплофизических параметров рабочего тела от температуры в цикле. Для продуктов сгорания природного газа имеющего конкретный состав (в зависимости от месторождения), одним из авторов данной статьи - Гулиной С.А., рассчитаны теплофизические свойства рабочего тела в виде $p - h - T$ функций, в среде пакета Microsoft Excel, в соответствии с Международной системой единиц с интервалом в 1 °С в диапазоне температур от -50 до 1650 °С.

Использование этой программы позволило авторами данной статьи Кашиной О.В. и Немытовой Д.А. выполнить термодинамический расчёт простого цикла трехвальной газотурбинной установки при различной суммарной степени повышения давления в компрессорах $\pi_{\Sigma} = 15; 20; 25$ и температуры газа перед турбиной высокого давления $T_T = 1200; 1300; 1450; 1600$ К. Исследуемые ГТД, работают в составе газоперекачивающих агрегатов и в качестве топлива используют природный газ, поэтому критериями эффективности термодинамического процесса являются полезная работа цикла и удельный расход топлива. Характер изменения удельного расхода топлива от параметров цикла представляет собой большой интерес для эксплуатации. По результатам расчетов были построены графики зависимости $L_e = f(\overline{\pi_{кнд}})$ (рис.1), где относительная степень сжатия в компрессоре низкого давления:

$$\overline{\pi_{кнд}} = \frac{\pi_{кнд}}{\pi_{\Sigma}}$$

$$L_e, \frac{кДж}{кг}$$

$$L_e, \frac{кДж}{кг}$$

$$L_e, \frac{кДж}{кг}$$

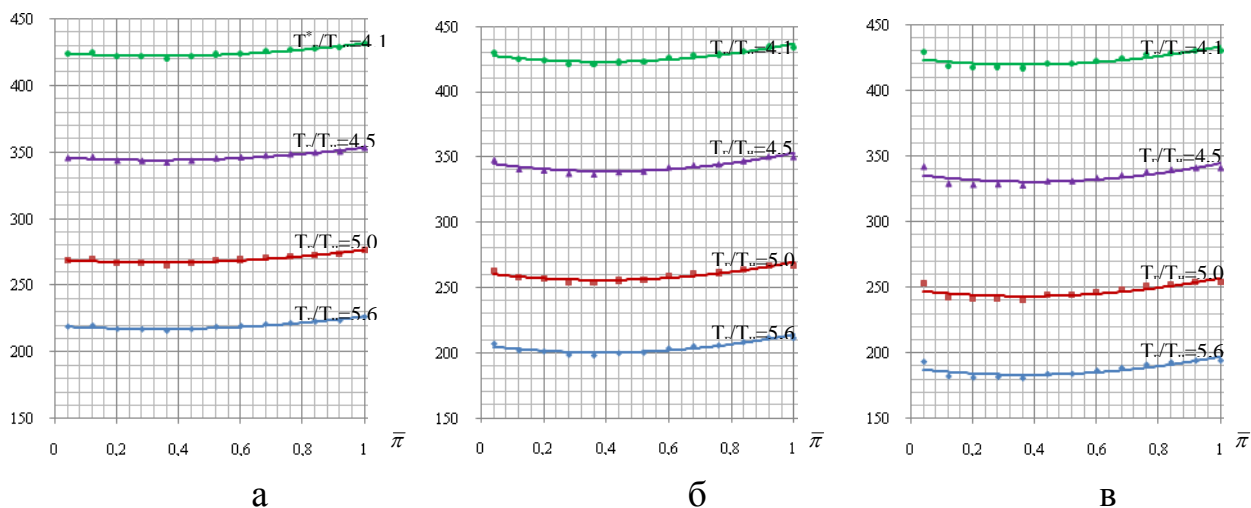


Рис. 1. Изменение Le в зависимости от $\overline{\pi_{KH\partial}}$: при различных суммарных степенях повышения давления: а – $\pi_{\Sigma} = 15$; б – $\pi_{\Sigma} = 20$; в – $\pi_{\Sigma} = 25$.

Расчёт удельной полезной работы и удельного расхода топлива производится по методике [3] с учетом механических потерь в опорах, изменения массы рабочего тела по тракту ГТД, гидравлических потерь и теплофизических свойств рабочего тела. Энтальпию и температуру в цикле определяем с помощью $\pi - h - T$ функций. На рис. 2 построена зависимость $c_{y\partial} = f(\overline{\pi_{KH\partial}})$ при различных $\frac{T^*}{T_H}$. Удельный расход топлива для газотурбинных двигателей, используемых для перекачки природного газа оценивается:

$$c_{y\partial} = \frac{3600}{H_u \eta_e}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

и, следовательно, удельный расход топлива обратно пропорционален эффективному КПД цикла.

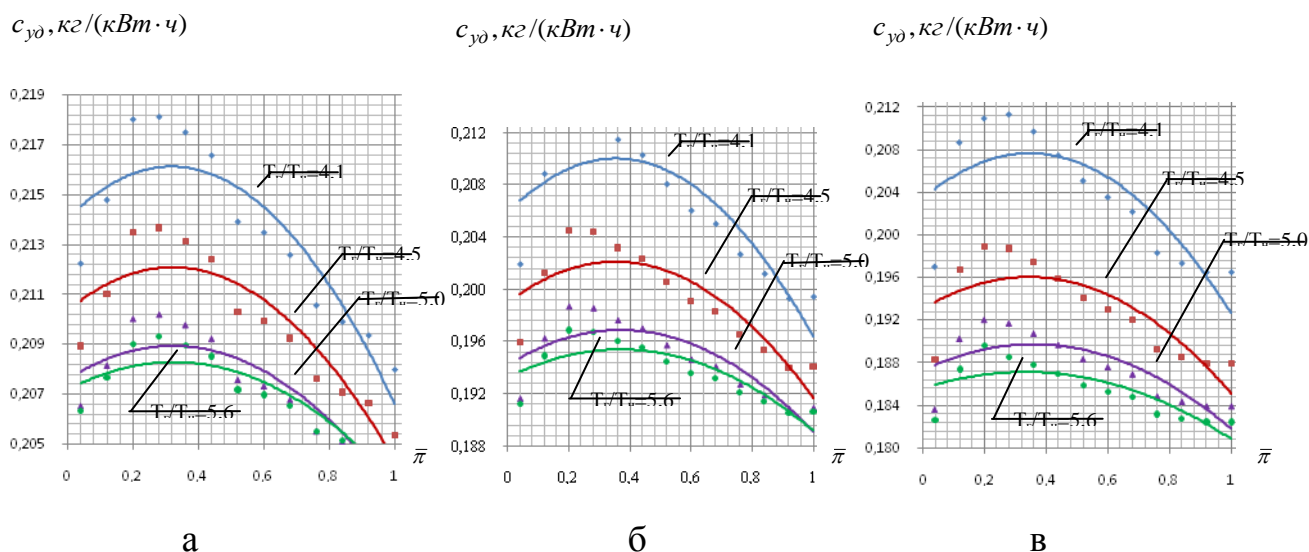


Рис. 2. Изменение $c_{y\partial}$ от $\overline{\pi_{KH\partial}}$: а – $\pi_{\Sigma} = 15$; б – $\pi_{\Sigma} = 20$; в – $\pi_{\Sigma} = 25$.

Полученные графические зависимости хорошо согласуются с теоретическими данными, представленными в работе [1]. С повышением температуры га-

за перед турбиной увеличивается эффективная работа цикла, эффективный КПД цикла, и снижается удельный расход топлива. Увеличение эффективной работы цикла и уменьшение удельного расхода с ростом $\pi_{K\Sigma}^*$ связано с повышением работоспособности рабочего тела и температуры воздуха за компрессором, следовательно, снижением количества подводимого топлива при условии $T_1^* = const$.

Из графических зависимостей видно, что при равномерном распределении степени повышения давления по каскадам компрессоров ($\overline{\pi_{кнд}} = 0,2 \dots 0,5$) уменьшается полезная работа цикла и увеличивается удельный расход топлива. Для $\overline{\pi_{кнд}} = 0$ и $\overline{\pi_{кнд}} = 1$, когда вся работа сжатия совершается в одновальном газогенераторе, удельные показатели ГТУ улучшаются. Следовательно, переход к двухвальному газогенератору позволяет реализовать большие значения $\pi_{K\Sigma}^*$ с обеспечением хорошего запаса газодинамической устойчивости работы компрессора, которую теряет однокаскадный газогенератор при реализации высоких степеней сжатия. Но появление второго вала увеличивает уровень механических потерь в опорах, и это приводит к снижению эффективных показателей цикла. Из полученного анализа можно сделать вывод, что оптимальное распределение степени повышения давления следует производить с учетом работы турбин компрессоров. Из условия равномерной нагруженности турбин и плавности проточной части - отношение $\pi_{кнд}^*$ и $\pi_{квд}^*$ прямо пропорционально квадрату скольжения роторов двухвального газогенератора. Распределение степени повышения давления с учетом минимального расхода топливного газа может дать существенную экономию природного газа и является одной из составляющих комплекса взаимосвязанных ресурсосберегающих технологий магистрального транспорта газа.

Библиографический список

1. Дорофеев В.М. Термогазодинамический расчет газотурбинных силовых установок / В.М. Дорофеев, В.Г. Маслов, Н.В. Первышин, С.А. Сватенко, Б.Д. Фишбейн. М.: Машиностроение, 1973. 144 с.
2. Гулина С.А. Упрощение термодинамических расчетов тепловых машин путем использования модели идеальных газов / С.А. Гулина, Е.Л. Михеенков, М.Ю. Орлов // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. Ч. 3. 2009. № 3. С. 28-34.
3. Михеенков Е.Л. Термодинамический анализ сложных систем энергетических установок / Е.Л. Михеенков. Самара: Изд-во Самарского государственного аэрокосмического университета, 2010. 146 с.: ил.
4. Михеенков Е.Л. Проведение термодинамических расчетов с учетом переменности свойств рабочего тела / Е.Л. Михеенков, В.В. Бирюк, М.Ю. Орлов, В.П. Алексеенко, Ю.А. Синеговский // Изв. Самарского научного центра РАН. Спец. вып. 2008. С. 36-39.